

## Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam

warmteberekeningen



**Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam**  
warmteberekeningen

**Auteur(s)**

de heer J.M. van Esch

## Opwarming eco-aquaduct A4 Schiedam warmteberekeningen




<b>Opdrachtgever</b>	WarmteLinQ
<b>Contactpersoon</b>	H.J. de Jong
<b>Trefwoorden</b>	warmteleiding, dgflow

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	0.1
<b>Datum</b>	23-03-2021
<b>Projectnummer</b>	11206615-000
<b>Document ID</b>	11206615-000-GEO-0002
<b>Pagina's</b>	25
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

<b>John van Esch</b>		

<b>Doc. Versie</b>	<b>Auteur</b>	<b>Controle</b>	<b>Akkoord</b>	<b>Publicatie</b>
0.1	dr.ir. John van Esch	dr. Henk Kruse	ing. Harm Aantjes	
				

# Samenvatting

De warmteleiding Vlaardingen – Den Haag, die door WarmtelinQ wordt aangelegd, transporteert restwarmte uit de Rotterdamse haven voor het verwarmen van huizen en bedrijven in Zuid Holland. In Schiedam kruist de warmteleiding de A4 via een eco-aquaduct en als gevolg van het warmtetransport zullen de zichtdijk op het eco-aquaduct en het water in een watergang naast het kunstwerk opwarmen. Deze opwarming heeft mogelijk effecten voor de flora en fauna. In dit rapport worden berekeningen gepresenteerd waarmee de verwachte temperatuuropenaamte wordt vastgesteld. De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen programma DgFlow en voorspellen de warmteontwikkeling in de ondergrond voor het jaar 2019.

De resultaten laten zien dat de warmteleidingen, bij het voorgestelde ontwerp, een gemiddelde temperatuursverhoging in de wortelzone van de zichtdijk geeft van 6°C. Bij de berekeningen is uitgegaan van een droog Flugsand-klei mengsel waaruit de dijk is opgebouwd. Een tweede berekening laat zien dat als het mengsel volledig verzadigd is met water, de warmtetoename beperkt blijft tot 3°C. Door de aanwezigheid van klei in het Flugsand-klei mengsel zal een volledig droge situatie niet optreden. De berekende temperatuur toename van 6°C kan derhalve als een bovengrens worden beschouwd. In de zomer zal de zichtdijk minder vocht bevatten. Alhoewel het gedrag van het bodemvocht in het Flugsand-klei mengsel niet bekend is kan worden aangenomen dat de klei het bodemvocht vast houdt. De te verwachten temperatuur toename op 20 cm onder de oppervlakte van de zichtdijk zal dus tussen de 3°C en 6°C liggen.

Bij de watergang naast het eco-duct wordt ter plaatse van de slootbodern een temperatuur toename van 6°C berekend. Ter plaatse van de slootrand wordt een temperatuur toename van 4°C voorspeld.

Het volume water boven de warmteleidingen wordt ingeschat op 12 m<sup>3</sup>. Dit volume zal door een stroomsnelheid in de sloot die wordt aangenomen op 1 m/d in 3,5 dagen zijn ververst. Het gemiddelde vermogen door de slootbodern en slootwand als gevolg van de warmteleidingen bedraagt 115 W. Hierdoor stijgt de temperatuur van het slootwater in 3,5 dagen met één graad.

In vervolgonderzoek worden de effecten van de warmtetoename op flora en fauna beschouwd.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Probleemstelling</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Beschikbare gegevens</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Berekeningen</b>	<b>12</b>
4.1	Zichtdijk	13
4.2	Watergang	18
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>23</b>
<b>Literatuur</b>	<b>24</b>	

# 1 Inleiding

WarmtelinQ is opgericht voor de aanleg van een ondergrondse warmteleiding, waarmee restwarmte uit de Rotterdamse haven voor het verwarmen van huizen en bedrijven in Zuid Holland kan worden gebruikt. De warmteleiding loopt van de Vondelingplaat in Rotterdam via Schiedam en Delft naar Den Haag en er komt een aftakking van Delft naar het Westland. In Schiedam kruist de geplande warmteleiding de A4 via een eco-aquaduct. De aanvoer en retourleiding wordt door WarmtelinQ aangeduid als warmteleiding Vlaardingen – Den Haag en wordt hierna warmteleiding genoemd.

Als gevolg van het warmtetransport door de leidingen (aanvoer en retour) zal de zichtdijk op het eco-aquaduct waarbinnen de leidingen worden aangelegd, en het water in een watergang naast het kunstwerk opwarmen met mogelijke effecten voor de flora en fauna. Onderzoek moet uitwijzen of de effecten van temperatuursverhoging op de zichtdijk en het water in de watergang

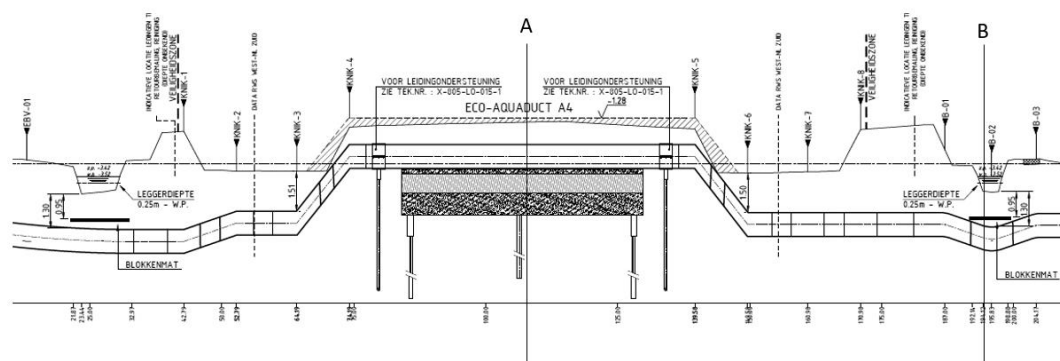
Als gevolg van het warmtetransport door de leiding zal de zichtdijk op het eco-aquaduct waarbinnen de leiding ligt, en het water in een watergang naast het kunstwerk opwarmen met mogelijke effecten voor de flora en fauna. Onderzoek moet uitwijzen of de effecten van temperatuursverhoging op de zichtdijk en het water in de watergang toelaatbaar zijn. Het onderzoek bestaat uit twee delen. Het eerste deel betreft het vaststellen van de te verwachten temperatuurtoename. Het tweede deel behelst de beschouwing van de effecten van de toename op flora en fauna. Dit rapport beschrijft de resultaten van het eerste deel van het onderzoek en geeft een voorspelling van de temperatuursverhoging op basis van berekeningen. De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen programma DgFlow (Deltares 2021). Het onderzoek naar de effecten op flora en fauna maakt geen onderdeel uit van de rapportage.

In hoofdstuk 2 wordt de doelstelling van het onderzoek beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van berekeningen die zijn uitgevoerd voor de zichtdijk en de watergang. De conclusies worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden een aantal aanbevelingen gegeven.

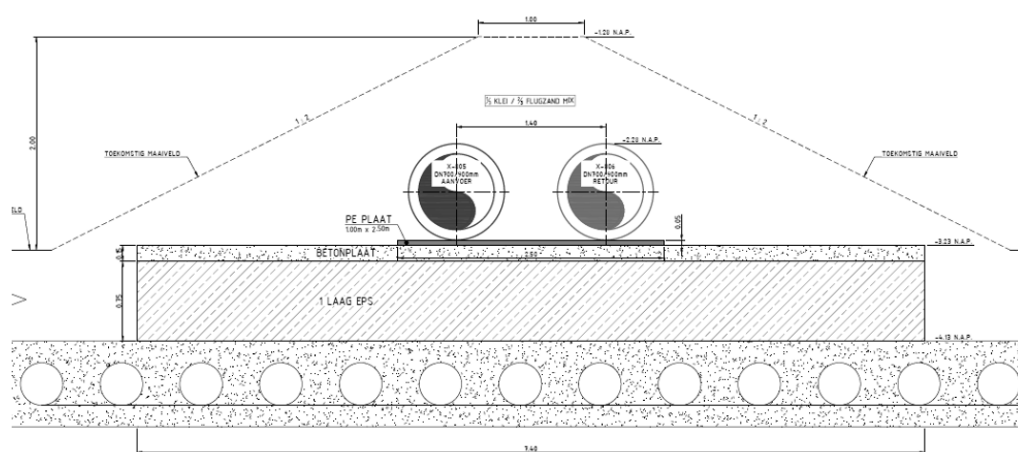
## 2 Probleemstelling

De onderzoeksvraag die wordt gesteld is: 'hoe groot is de toename van de temperatuur in de zichtdijk op het eco-aquaduct en hoe groot is de temperatuuroenamen ter plaatse van de watergang naast het kunstwerk als gevolg van de aanleg van de warmteleidingen'. Deze vraag wordt in dit onderzoek beantwoord met modelberekeningen die het temperatuursverloop op beide locaties over een representatief jaar (2019) laten zien met en zonder warmteleidingen.

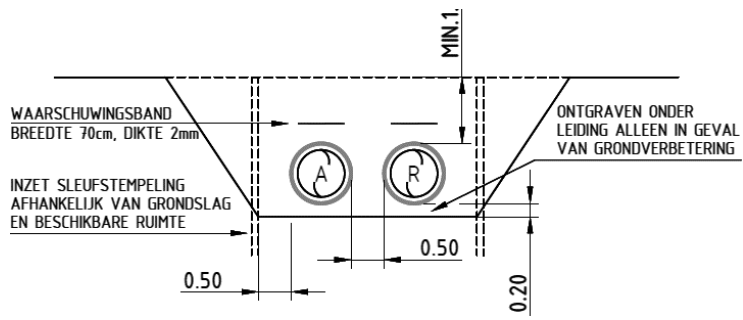
Figuur 2.1 geeft de langsdoorsnede van het eco-aquaduct en de warmteleidingen weer met daarin de locaties (A en B) die in dit project onderzocht zullen worden. Dwarsdoorsnede A is afgebeeld in Figuur 2.2. Van dwarsdoorsnede B waren geen gegevens beschikbaar en doorsnede B is, in samenspraak met WarmtelinQ, afgeleid uit het standaardprofiel dat is afgebeeld in Figuur 2.3 en de langsdoorsnede.



Figuur 2.1 Langsdoorsnede eco-aquaduct en warmteleiding.



Figuur 2.2 Dwarsdoorsnede A, warmteleidingen in de zichtdijk.

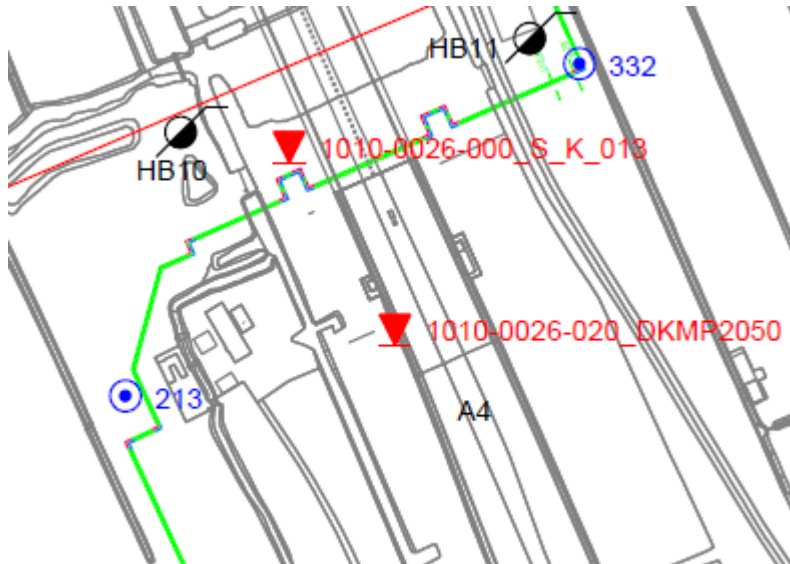


Figuur 2.3 Dwarsdoorsnede B, warmteleidingen ter plaatse van de watergang.

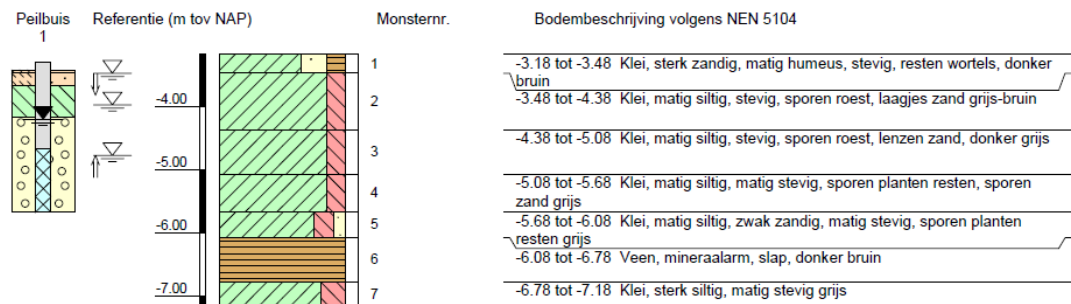


### 3 Beschikbare gegevens

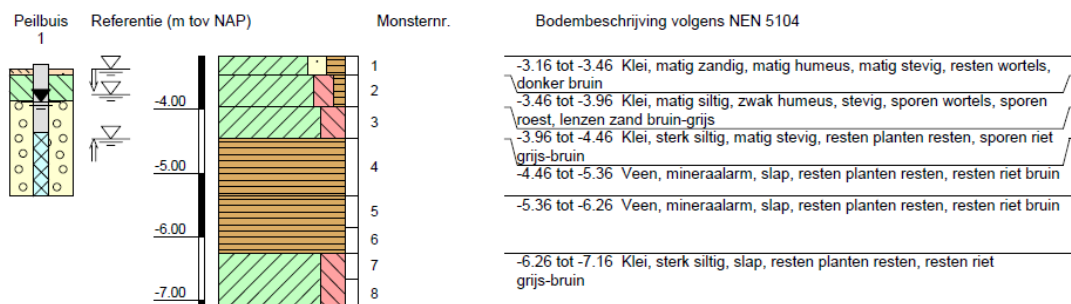
Voor de beoordeling van de opbouw van de ondergrond is de beschrijving van de handboringen HB10 en HB11, de milieuboringen 213, 322 (Fugro 2020) gebruikt, en zijn de sonderingen 1010-0026-000\_S\_K\_013 en 1010-0026-020\_DKMP2050 geïnterpreteerd (Fugro 2020). Figuur 3.1 laat de positie van de meetpunten zien en in Figuur 3.2 en Figuur 3.3 zijn de boorbeschrijvingen afgebeeld.



Figuur 3.1 Overzichtstekeningen grondonderzoek (bron Fugro 2020).



Figuur 3.2 Boorbeschrijving handboring 10 (bron Fugro 2020).



Figuur 3.3 Boorbeschrijving handboring 11 (bron Fugro 2020).

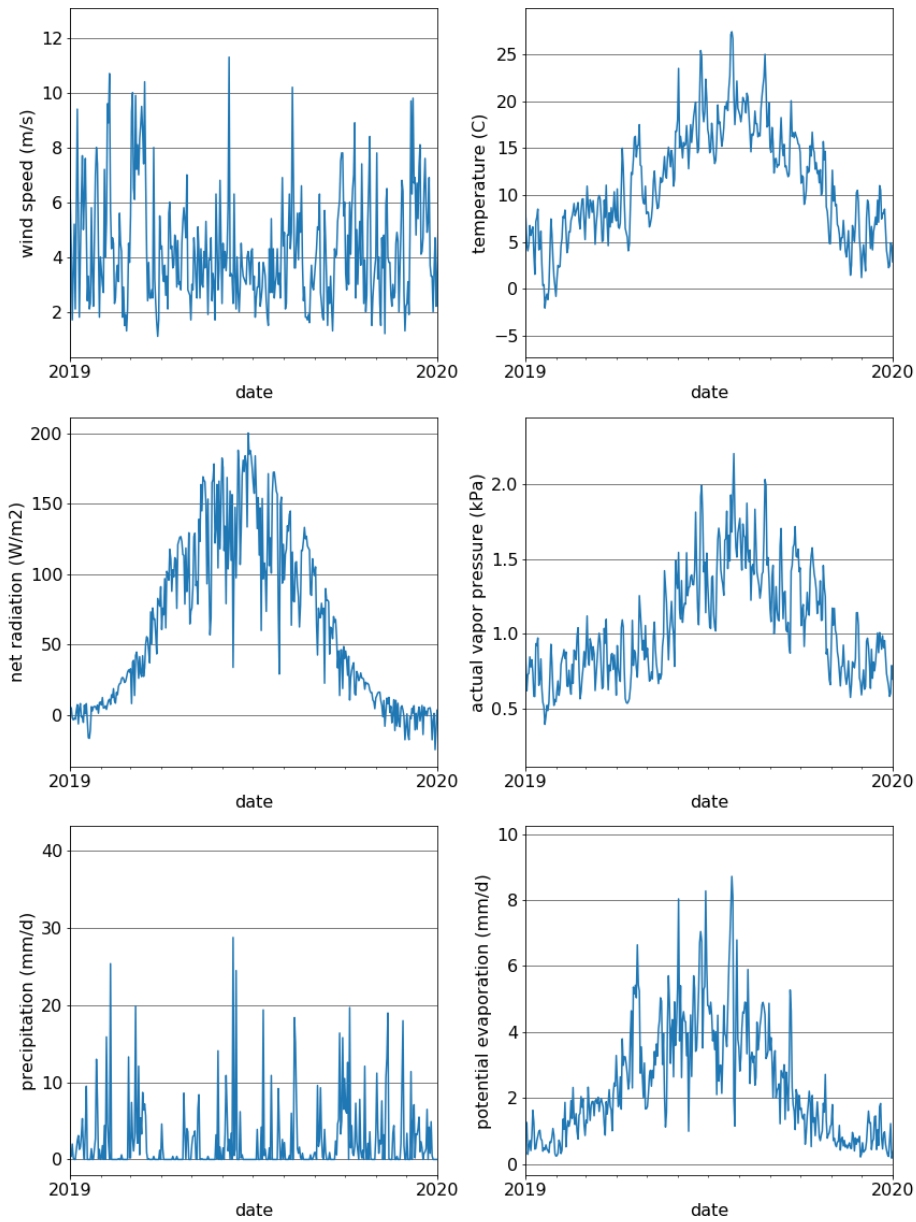
De thermische eigenschappen van de ondergrond en de materialen waarmee het eco-aquaduct is geconstrueerd zijn afgeleid uit de Anteagroup rapportage (Anteagroup 2020).

Volgens Figuur 2.2 heeft de zichtdijk een kruinbreedte van 1 m, een hoogte van 2 m en taludhellingen van 1 op 2. De dijk is opgebouwd uit een mengsel van 1/3 klei en 2/3 Flugsand. De leidingen (DN 700/900) hebben een binnendiameter van 700 mm en een buitendiameter van 900 mm. De binnenbuis is van staal de mantel aan de buitenzijde is van PE. Tussen de binnen- en buitenbuis is een isolatielaag van PUR aangebracht. De componenten van de leiding hebben de volgende diktes: staal 14.2 mm, PE 11 mm en PUR 83 mm en de warmtegeleidingscoëfficiënten van de leidingmaterialen zijn respectievelijk: 45 W/mK, 0.028 W/mK en 0.17 W/mK. De specifieke warmte van staal, PE en PUR bedragen 500 J/kgK, 1900 J/kgK en 1470 J/kgK. De maatgevende temperatuur van de vloeistof in de aanvoerleiding wordt gesteld op 105 °C en de temperatuur in de afvoerleiding is 60 °C, de hart op hart afstand tussen de leidingen is 1.4 m.

Beide warmteleidingen liggen in de zichtdijk op een PE plaat van 5 cm (de thermische eigenschappen van PE zijn hierboven beschreven. Daaronder ligt een 15 cm dikke betonplaat bovenop een 75 cm dikke EPS plaat die is aangebracht om het gewicht te reduceren. De EPS plaat zal de uitstraling van warmte naar het betondek reduceren. Het betondek heeft een dikte van 800 mm met daarin uitsparingen. Beton heeft een thermische geleidbaarheid van 1.7 W/mK en een warmtecapaciteit van 1000 J/kgK. Voor de sparingsbuizen worden de eigenschappen van stilstaande lucht gebruikt; de geleiding is 0.023 W/mK en de warmtecapaciteit wordt gesteld op 1000 J/kgK.

Volgens Figuur 2.1 ligt de bovenkant van de warmteleidingen ter plaatse van de watergang op NAP – 5.37m, de onderkant ligt op NAP – 6.27m en de slootbodem ligt op een diepte van NAP – 4.07m. Het winterpeil wordt gehandhaafd op NAP – 3.52m en het zomerpeil ligt op NAP – 3.42m. De hoogte van het maaiveld links van de sloot is NAP – 3.08m en de maaiveldhoogte rechts van de sloot is NAP – 2.82m. Uit Figuur 2.3 volgt dat de dagmaat tussen aanvoer en afvoerleiding 50 cm is. Uit handboring 11 is het volgende ondergrondprofiel afgeleid: klei van maaiveld tot NAP – 4.46m, veen van NAP – 4.46m tot NAP – 6.26m en klei van NAP – 6.26m tot NAP – 7.16m.

De meteorologische gegevens, die gebruikt worden als bovenrandvoorwaarde in DgFlow, zijn verzameld via de KNMI website (KNMI 2020). In Figuur 3.4 zijn de gebruikte gegevens: windsnelheid, atmosferische temperatuur, inkomende zonnestraling, dampspanning en neerslag afgebeeld. Met het rekenmodel DgFlow (Deltares 2021) wordt de potentiële verdamping berekend waaruit de thermische warmteflux vanuit de bodem naar de atmosfeer wordt afgeleid.



Figur 3.4 KNMI gegevens Rotterdam en berekende verdamping.

## 4 Berekeningen

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de tijdsafhankelijke warmteberekeningen (twee dimensionaal) gepresenteerd. De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen model DgFlow dat door Deltares is ontwikkeld (Deltares 2021).

Bij de berekeningen wordt de temperatuur in de warmteleidingen constant verondersteld en worden tijdsafhankelijke meteorologische condities aan maaiveld opgelegd. Er wordt in eerste instantie gerekend met droog materiaal in de zichtdijk. De gevoeligheid voor vocht wordt met een berekening waarbij de zichtdijk verzadigd met water wordt verondersteld. Bij de watergang wordt uitgegaan van een verzadigde toestand.

De thermische eigenschappen van klei en veen in de ondergrond en het Flugsand-klei mengsel in de zichtdijk zijn bepaald op basis van literatuuronderzoek. De overige eigenschappen zijn overgenomen uit de Anteagroup rapportage (Anteagroup 2021). De berekeningen worden tijdsafhankelijk uitgevoerd. Er wordt gebruik gemaakt van de gegevens van het jaar 2019. Er wordt gerekend met en zonder warmteleidingen om de warmtetoename vast te kunnen stellen. De uiteindelijke opwarming van het water in de watergang, die wordt beïnvloed door neerslag en stroming van water is door middel van een eenvoudige hydrologische studie worden bepaald.

Figuur 4.1 geeft de positie van de dwarsdoorsneden weer die zullen worden beschouwd.



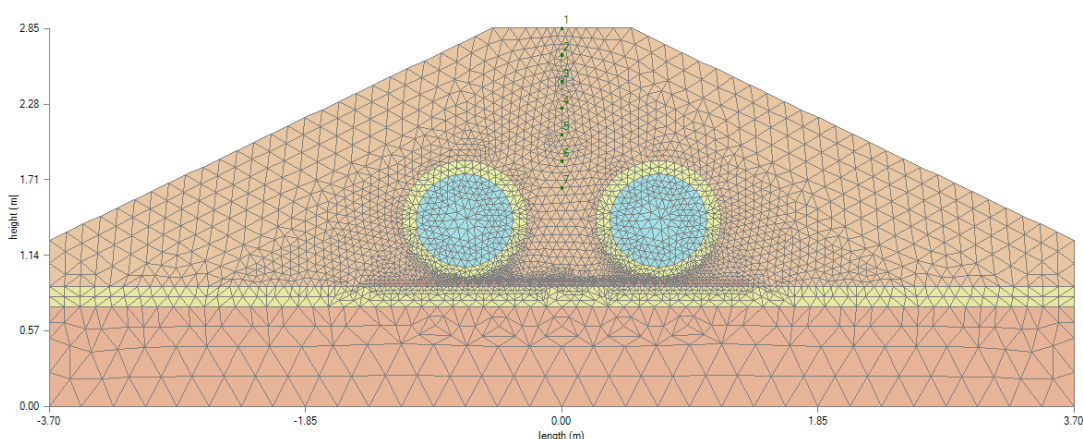
Figuur 4.1 Ligging dwarsdoorsneden.

## 4.1 Zichtdijk

### Berekeningen

In Figuur 4.2 is het eindige elementen mesh voor de zichtdijk met warmteleiding afgebeeld. De dijk is opgebouwd uit een mengsel van klei-Flugsand. De leidingen hebben een binnendiameter van 700 mm en een buitendiameter van 900 mm. De binnenbuis is van staal de mantel aan de buitenzijde is van PE. Tussen binnen- en buitenbuis is een isolatielaag van PUR aangebracht. Beide leidingen liggen in de zichtdijk op een PE plaat, daaronder ligt een betonplaat en daaronder een EPS plaat. Het betondek is niet gemodelleerd omdat de EPS plaat de warmteflux naar beneden bepaalt. De materiaaleigenschappen zijn weergegeven in Tabel 1.

De temperatuur van de vloeistof in de aanvoerleiding is 105 °C en de temperatuur in de afvoerleiding is 60 °C. Aan de bovenrand zijn de atmosferische condities opgegeven die door het KNMI gemeten zijn in weerstation Rotterdam gedurende het jaar 2019. De onderrand en de verticale randen zijn thermisch geïsoleerd.

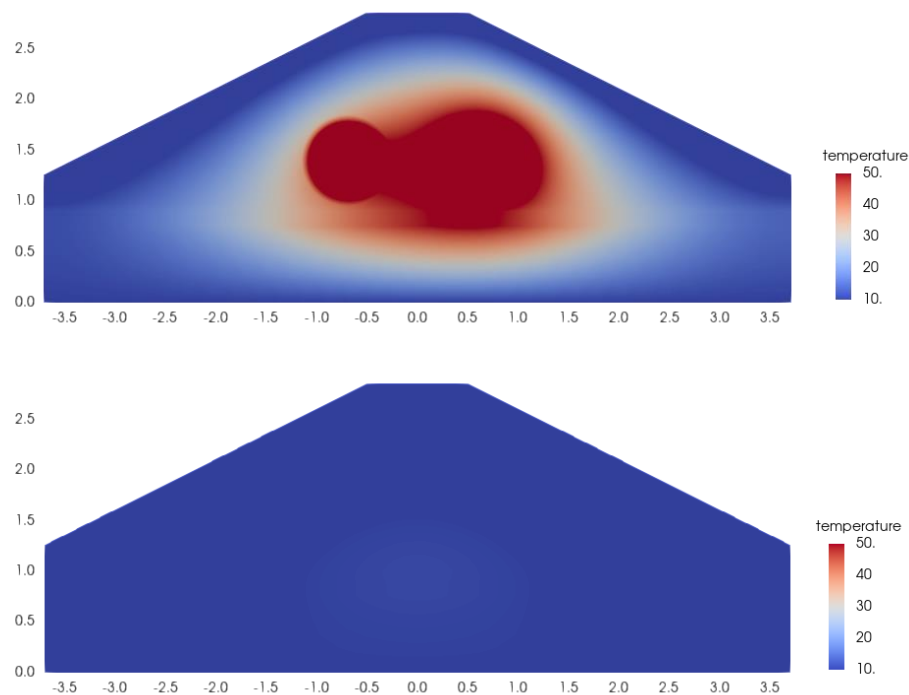


Figuur 4.2 Eindige elementen mesh zichtdijk met leiding.

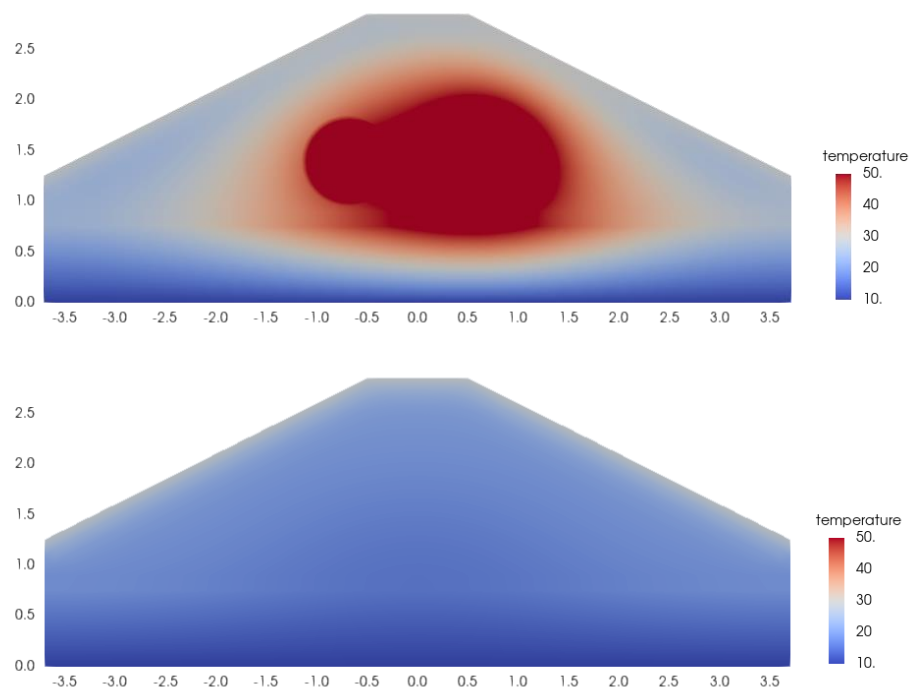
Tabel 1 Materiaalparameters zichtdijk.

materiaal	geleidbaarheid (W/mK)	capaciteit (J/kgK)	dichtheid (kg/m <sup>3</sup> )	diffusie (mm <sup>2</sup> /s)
1/3 klei 2/3 Flugsand droog	0.16	1510	800	0.13
PE	0.17	1900	950	0.09
beton	1.7	1000	2400	0.71
eps	0.035	1450	27.5	0.88
PUR	0.024	1470	90	0.18
staal	45	500	8050	11.18
water	0.6	4182	1000	0.14

De berekende temperatuursverdeling in de zichtdijk zonder en met leiding, onder droge omstandigheden is afgebeeld voor een winter en zomer situatie. Figuur 4.3 geeft de temperatuursverdeling voor 5 Februari 2019 (wintersituatie) en Figuur 4.4 laat de voorspelde temperatuursverdeling voor 24 Augustus 2019 (zomersituatie) zien.



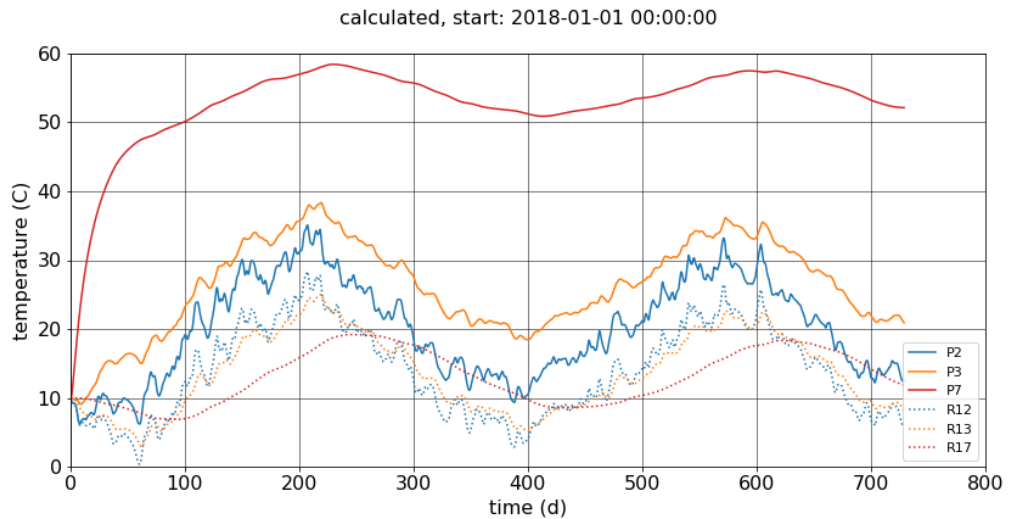
*Figuur 4.3 Temperatuursverdeling zichtdijk (droog) met en zonder leiding 5 Februari 2019 (dag 400).*



*Figuur 4.4 Temperatuursverdeling zichtdijk (droog) met en zonder leiding 24 Augustus 2019 (dag 600).*

Tijdens de berekening wordt de temperatuur gevolgd op een aantal locaties P2, P3 en P7 in de geometrie met leiding en referenties locaties R12, R13, R17 in geometrie zonder leidingen. De locaties liggen in het hart van de doorsnede tussen de aanvoerleiding en de retourleiding. De gronddekking van P2 en R12 is 20 cm, van P3 en R13 is de dekking 40 cm en P7 en R17 liggen 120 cm onder de kruin van de dijk. Het temperatuursverloop van de locaties in de zichtdijk is afgebeeld in Figuur 4.5. De berekening is gestart op 1 januari 2018

en de resultaten zijn beoordeeld voor het jaar 2019. Het duurt namelijk enige tijd voordat het model ingeregeld is. De eerder getoonde resultaten voor 5 Februari 2019 en 24 Augustus 2019 worden gevonden voor dag 400 en dag 600 van de berekening.



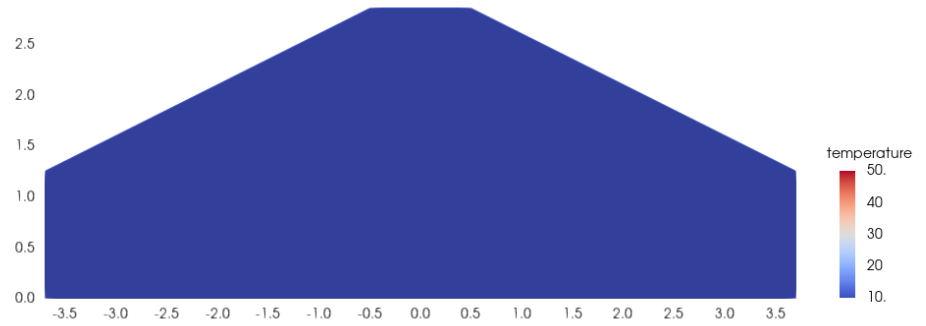
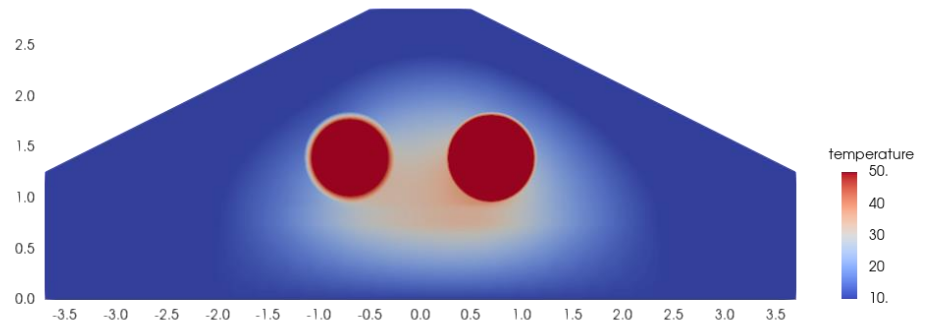
Figuur 4.5 Temperatuursverloop locaties zichtdijk (droog) met en zonder leiding.

Tabel 2 Berekende temperaturen zichtdijk droog.

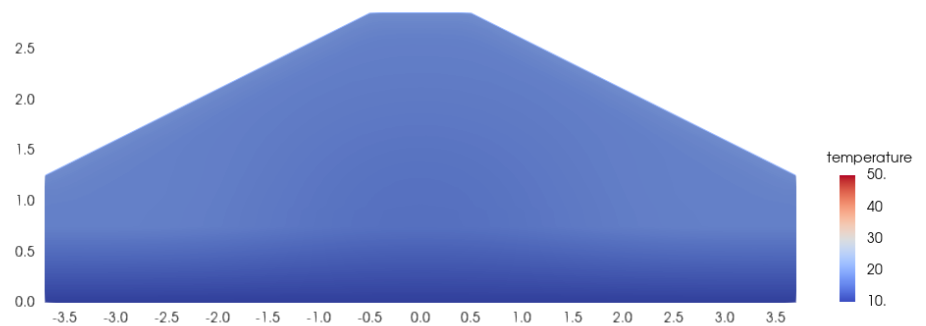
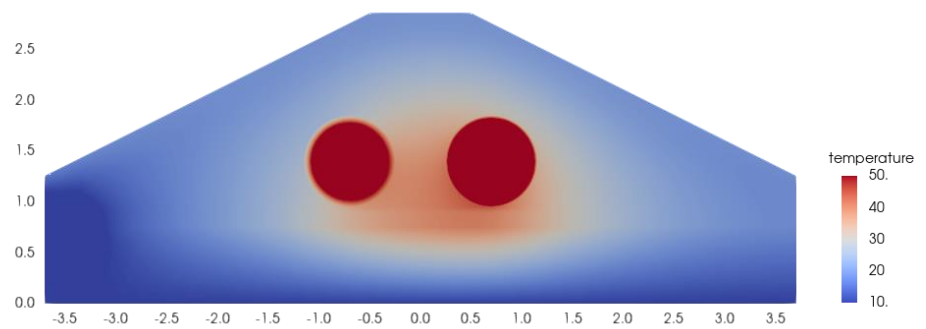
locatie	x (m buis)	y (m -mv)	min (C)	mean (C)	max (C)
2	0	2.65	6	20	35
3	0	2.45	9	26	38
7	0	1.65	10	53	58
12	0	2.65	0	14	28
13	0	2.45	3	14	25
17	0	1.65	7	13	19

De resultaten laten zien dat de warmteleidingen, bij het voorgestelde ontwerp, een gemiddelde temperatuursverhoging in wortelzone van de zichtdijk geeft van 6°C. Bij de berekeningen is uitgegaan van een droog Flugsand-klei mengsel waaruit de dijk is opgebouwd. De warmtegeleidbaarheid van het mengsel onder droge omstandigheden is daarbij gesteld op 0.16 W/mK.

Aanvullende berekeningen laten de warmteontwikkeling zien als het Flugsand-klei mengsel verzadigd is met water, en de warmtegeleidbaarheid toeneemt tot 0.96 W/mK, Figuur 4.6 geeft de warmteverdeling op dag 400 van de berekening en Figuur 4.7 laat het verloop op dag 600 zien. In Figuur 4.8 is het temperatuursverloop van de locaties onder natte condities te zien.

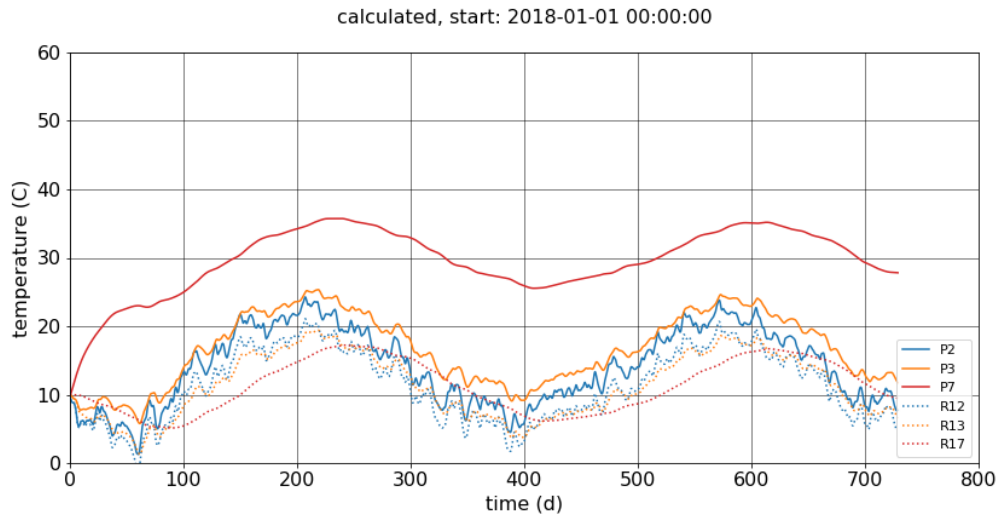


*Figuur 4.6 Temperatuursverdeling zichtdijk (nat) met en zonder leiding 5 Februari 2019 (dag 400).*



*Figuur 4.7 Temperatuursverdeling zichtdijk (nat) met en zonder leiding 24 Augustus 2019 (dag 600).*





Figuur 4.8 Temperatuursverloop locaties zichtdijk (nat) met en zonder leiding.

Tabel 3 Berekende temperaturen zichtdijk nat.

locatie	x (m buis)	y (m -mv)	min (C)	mean (C)	max (C)
2	0	2.65	1	14	24
3	0	2.45	6	17	25
7	0	1.65	10	30	36
12	0	2.65	-1	11	21
13	0	2.45	1	11	19
17	0	1.65	5	11	17

Als het Flugsand-klei mengsel verzadigd is, blijft de warmtetoename beperkt blijft tot 3°C (zie Tabel 3).

#### Discussie resultaten

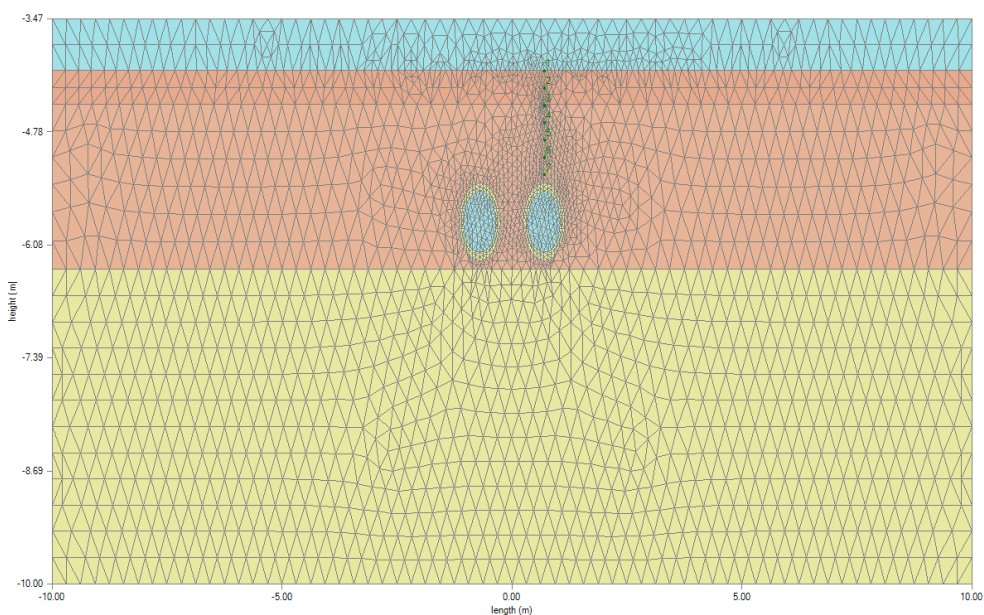
Door de aanwezigheid van klei in Flugsand-klei mengsel zal een volledig droge situatie niet optreden. De berekende temperatuur toename van 6°C kan daarom als een bovengrens worden beschouwd. Omdat het gedrag van het bodemvocht in het Flugsand-klei mengsel niet bekend is kan worden aangenomen dat de te verwachten temperatuur toename op 20 cm onder de oppervlakte van de zichtdijk zal tussen de 3°C en 6°C liggen.

## 4.2 Watergang

### Berekeningen

In Figuur 4.9 is het eindige elementen mesh voor de berekening met de watergang met de warmteleidingen afgebeeld. In het rekenmodel is uitgegaan van gemiddeld waterpeil op NAP – 3.47m en het niveau van de slootbodembodem op NAP – 4.07m. De ondergrond bestaat uit klei tot NAP – 4.46m, veen tot NAP – 6.26m met daaronder klei tot NAP – 10.0m. De thermische eigenschappen zijn verzameld in Tabel 4

De temperatuur van de vloeistof in de aanvoerleiding is 105 °C en de temperatuur in de afvoerleiding is 60 °C. Aan de bovenrand zijn de atmosferische condities opgegeven die door het KNMI gemeten zijn in weerstation Rotterdam gedurende het jaar 2019. De onderrand en de verticale randen bevinden zich ver genoeg van de leiding en zullen de temperatuur rond de leiding niet beïnvloeden.

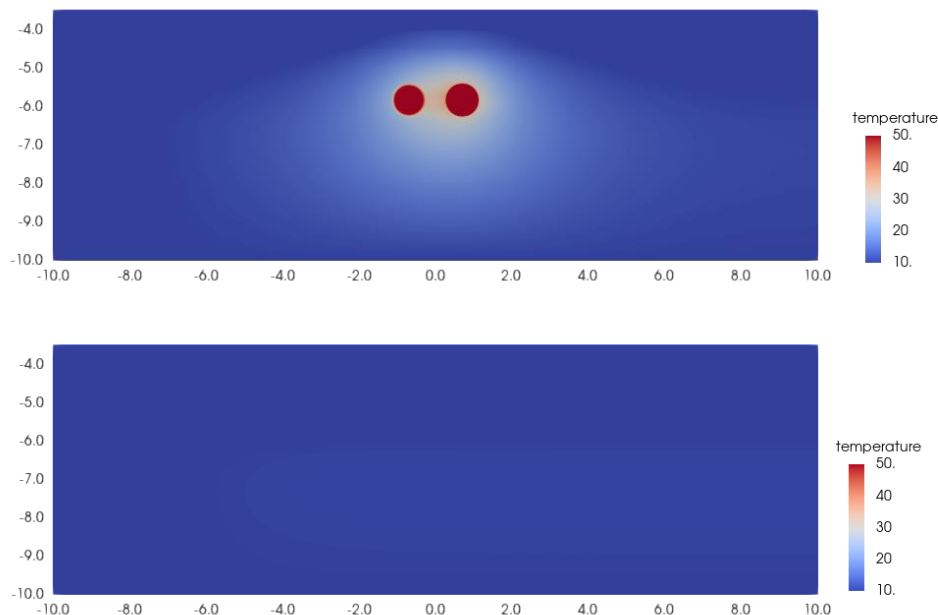


Figuur 4.9 Eindige elementen mesh watergang .

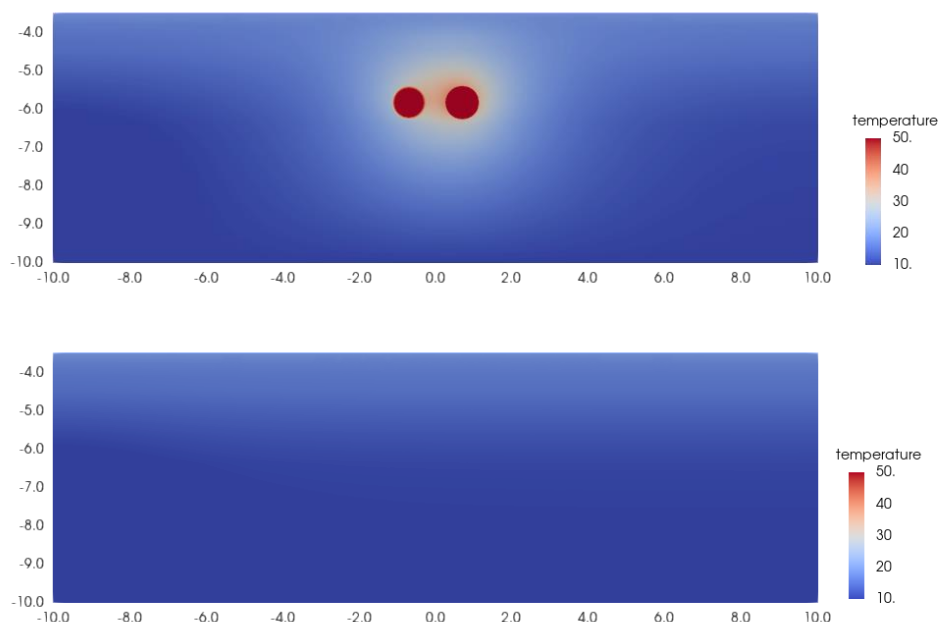
Tabel 4 Materiaalparameters watergang.

materiaal	geleidbaarheid (W/mK)	capaciteit (J/kgK)	dichtheid (kg/m <sup>3</sup> )	diffusie (mm <sup>2</sup> /s)
water	0.6	4182	1000	0.14
klei nat	1.1	2970	1400	0.26
veen nat	0.6	1880	1100	0.29
klei nat	1.1	2970	1400	0.26
PE	0.17	1900	950	0.09
PUR	0.028	1470	90	0.21
staal	45	500	8050	11.18

Figuur 4.10 geeft de berekende temperatuursverdeling rond de watergang weer met en zonder leiding op 5 Februari 2019 en Figuur 4.11 laat de temperatuursverdeling zien met en zonder leiding op 24 augustus 2019.

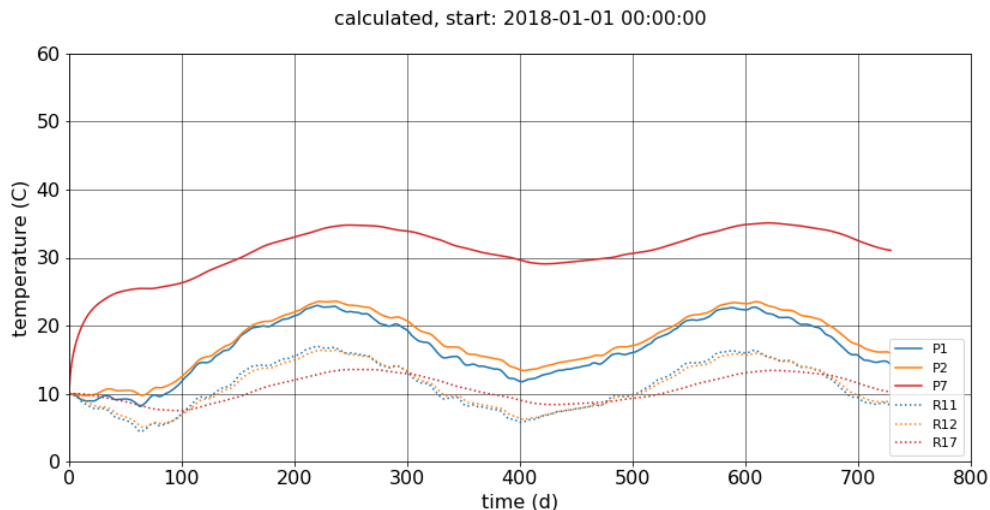


Figuur 4.10 Temperatuursverdeling watergang met en zonder leiding 5 Februari 2019 (dag 400).



Figuur 4.11 Temperatuursverdeling watergang met en zonder leiding 24 Augustus 2019 (dag 600).

Ook bij de berekening voor de watergang wordt de temperatuur gevolgd op een aantal locaties P1, P2 en P7 in de geometrie met leiding en locaties R11, R12, R17 als referentie in geometrie zonder leidingen. De locaties liggen in het hart van de doorsnede tussen de aanvoerleiding en de retourleiding. locaties P1 en R11 liggen op de slootbodem, P2 en R12 liggen 20 cm onder de bodem en P7 en R17 liggen 120 cm onder de slootbodem. Het temperatuursverloop van de locaties onder de watergang is afgebeeld in Figuur 4.12. De berekening is gestart op 1 januari 2018 en de resultaten zijn beoordeeld voor het jaar 2019.



Figuur 4.12 Temperatuursverloop locaties watergang met en zonder leiding.

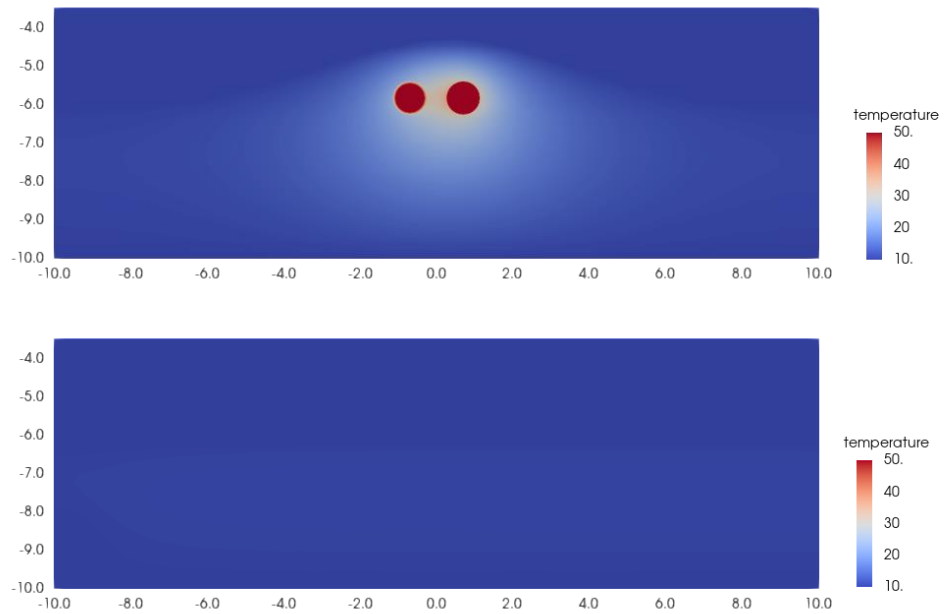
Tabel 5 Berekende temperaturen watergang.

locatie	x (m buis)	y (m -mv)	min (C)	mean (C)	max (C)
1	0	2.85	12	17	23
2	0	2.65	13	18	24
7	0	1.65	29	32	35
11	0	2.85	6	11	16
12	0	2.65	6	11	16
17	0	1.65	8	11	13

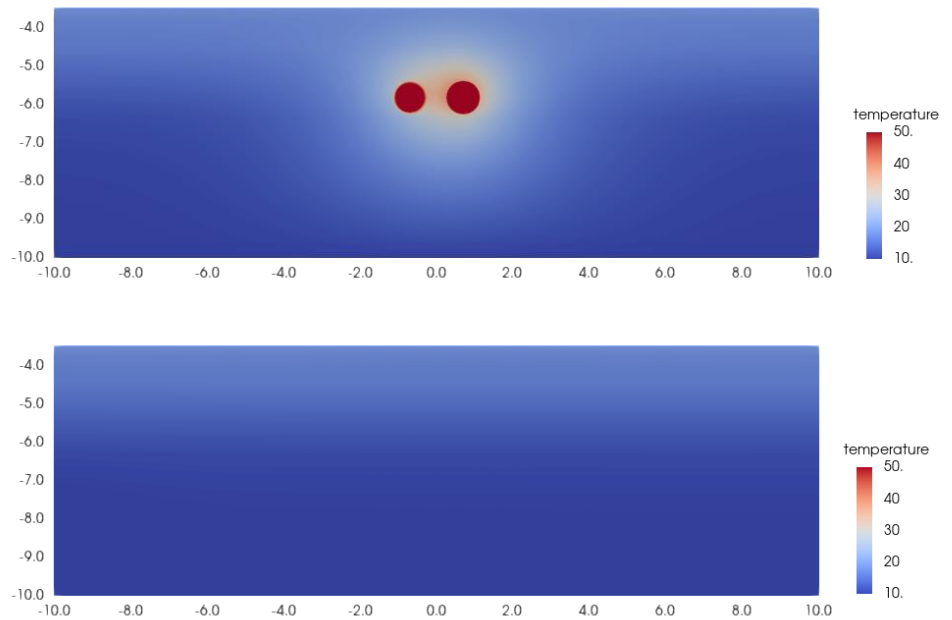
De tweedimensionale berekening die is uitgevoerd voor het voorspellen van de warmtetoename in de watergang laat zien dat de temperatuurtoename door de warmteleidingen op de watergangbodem toeneemt met 6°C.

Een tweede berekening, die hieronder wordt beschreven, laat zien dat de temperatuurtoename direct naast de sloot beperkt blijft tot 4°C.

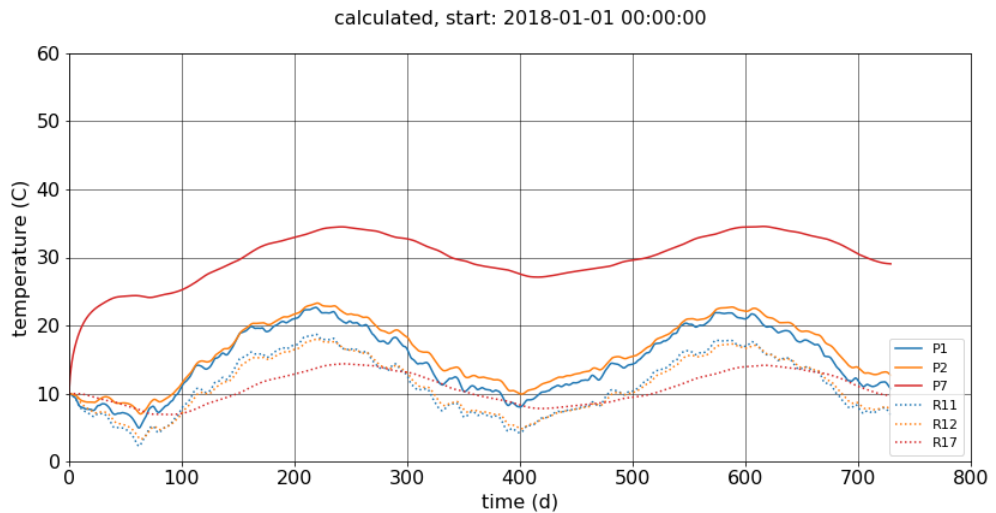
In Figuur 4.13 en Figuur 4.14 is het warmteverloop in de ondergrond volgens de tweede berekening afgebeeld. Het temperatuursverloop in de sensoren is weergegeven in Figuur 4.15.



Figuur 4.13 Temperatuursverdeling slootrand met en zonder leiding 5 Februari 2019 (dag 400).



Figuur 4.14 Temperatuursverdeling slootrand met en zonder leiding 24 Augustus 2019 (dag 600).



Figuur 4.15 Temperatuursverloop locaties slootrand met en zonder leiding.

Tabel 6 Berekende temperaturen slootrand.

locatie	x (m buis)	y (m -mv)	min (C)	mean (C)	max (C)
1	0	2.85	8	15	22
2	0	2.65	10	16	23
7	0	1.65	27	31	35
11	0	2.85	4	11	18
12	0	2.65	5	11	17
17	0	1.65	8	11	14

### Discussie resultaten

Ter plaatse van de slootbodembodem wordt een temperatuur toename van 6°C berekend. Ter plaatse van de slootrand wordt een temperatuur toename van 4°C berekend.

Het volume water boven de warmte leidingen wordt ingeschat op 12 m<sup>3</sup> (waterdiepte 0.6 m, slootbreedte 6 m, 3.5 m beïnvloede strook). Dit volume zal door een stroomsnelheid in de sloot, die wordt aangenomen op 1 m/d, in 3,5 dagen zijn verversd. Het gemiddelde vermogen door de slootbodembodem en slootwand als gevolg van de warmteleidingen bedraagt 115 W. Daarbij is uitgegaan van een warmtegeleidingscoëfficiënt van de kleibodem van 1.1 W/mK, een warmteverschil van 1°C tussen slootbodembodem en de locatie 20 cm onder de bodembodem en een slootbodembodemoppervlak van 21 m<sup>2</sup>. Met de thermische eigenschappen van water uit Tabel 4 stijgt de temperatuur van het slootwater in 3,5 dagen met 1°C.

## 5 Conclusies

In dit rapport is de toename van de temperatuur in de zichtdijk op het eco-aquaduct berekend en de temperatuuroenamen ter plaatse van de watergang naast het kunstwerk als gevolg van de aanleg van de warmteleidingen bepaald. De berekeningen zijn uitgevoerd met het eindige elementen programma DgFlow.

De resultaten laten zien dat de warmteleidingen, bij het voorgestelde ontwerp in een volledig droge situatie, een gemiddelde temperatuursverhoging in de wortelzone van de zichtdijk geeft van 6°C. Bij deze berekeningen is uitgegaan van een droog Flugsand-klei mengsel waaruit de dijk is opgebouwd. Een tweede berekening laat zien dat als het mengsel verzadigd is met water, een temperatuursverhoging wordt gevonden van 3°C.

Door de aanwezigheid van klei in het Flugsand-klei mengsel zal een volledig droge situatie niet optreden. De berekende temperatuur toename van 6°C wordt daarom als een bovengrens worden beschouwd. Hoewel het gedrag van de hoeveelheid bodemvocht in het Flugsand-klei mengsel niet bekend is zal de te verwachten temperatuur toename op 20 cm onder de oppervlakte van de zichtdijk tussen de 3°C en 6°C liggen.

Bij de watergang naast het ecoduct wordt ter plaatse van de slootbodem een temperatuur toename van 6°C berekend. Ter plaatse van de slootrand is een toename van de temperatuur van 4°C berekend.

Het volume water boven de warmte leidingen wordt ingeschat op 12 m<sup>3</sup>. Dit volume zal door een stroomsnelheid in de sloot, die wordt aangenomen op 1 m/d, in 3,5 dagen zijn ververst. Het gemiddelde vermogen door de slootbodem en slootwand als gevolg van de warmte leidingen bedraagt 115 W. Hierdoor stijgt de temperatuur van het slootwater in 3,5 dagen met één graad.

# Literatuur

Anteagroup, 2020, 'warmteafdrachtberekening eco-aqueduct A4 – leiding door het Midden', projectnummer 437129.

Deltares, 2021, 'heat supply pipelines in agricultural areas; heat transfer model validations', projectnummer 11205411-001.

Fugro, 2020, 'geotechnisch veldwerk en laboratoriumonderzoek Lot A project leiding door het Midden Zuid Holland', documentnummer LdM-T-403-RP-007, versie 2.0.

KNMI, 31-12-2020, <http://projects.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/selectie.cgi>, daggegevens Rotterdam.



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)